

# Estudio de la influencia de las librerías de RF en tecnología SiGe: Aplicación en el diseño de LNA's para WLAN

Yolanda Jato Llano, Amparo Herrera Guardado

[jatoy@unican.es](mailto:jatoy@unican.es), [amparo.herrera@unican.es](mailto:amparo.herrera@unican.es)

<sup>(1)</sup> Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n 39005 Santander, Cantabria

**Abstract-** This paper presents the study of the influence of RF libraries on the design of MMICs (Monolithic Microwave Integrated Circuits). Two low noise amplifiers (LNA's) for the WLAN 802.11a standard have been designed using different SiGe Technologies: 0.4  $\mu\text{m}$  CDR1 BiCMOS from Freescale and 0.2  $\mu\text{m}$  SGB25VD from IHP. The LNA's have been simulated and measured in order to verify the importance of the component models that the library offers. The comparison of both libraries show that the IHP models are more reliable at higher frequencies than the Freescale ones. It has also been noted the lack of a transmission line model for high frequency designs in both technologies although in this case the influence of these lines in the performance of the circuits is not too significant.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las áreas en electrónica que ha experimentado un mayor crecimiento en las últimas décadas es la de las aplicaciones para comunicaciones inalámbricas (Bluetooth, WLAN...). Las tecnologías de semiconductores han sido la clave de este crecimiento permitiendo grandes ventajas en coste, tamaño y consumo. Además los consumidores de estos productos exigen cada día mayores prestaciones y velocidades. Con el fin de conseguir estos requisitos las frecuencias de operación crecen cada día más con lo que las tecnologías deben ir actualizándose para permitir cada vez frecuencias más elevadas de funcionamiento.

La tecnología de SiGe es hoy en día la más utilizada en el área de las comunicaciones inalámbricas. En sus primeros años no era una de las más usadas ya que no permitía frecuencias de operación elevadas pero su rápido desarrollo para adaptarse a las necesidades actuales la han convertido en firme competidora para las tecnologías de GaAs, utilizándose hoy en días en multitud de aplicaciones de microondas.

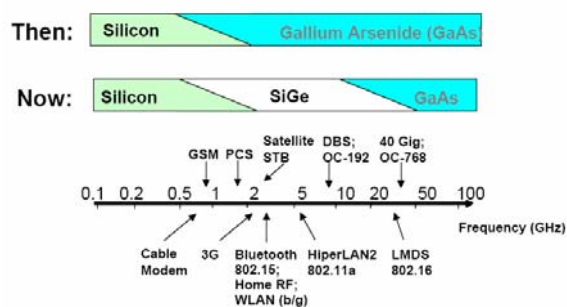


Fig. 1. Rango de frecuencias de uso de las tecnologías de Si, SiGe y GaAs.

Un aspecto de vital importancia en el diseño de circuitos integrados es la fiabilidad y precisión de los modelos de los componentes que integra la librería que nos provee la foundry para el diseño del circuito. Estos modelos deben ajustarse lo más posible al comportamiento real del componente con el fin de que las simulaciones que se realicen durante la fase de diseño se ajusten a las medidas del circuito.

El objetivo de este artículo es realizar una comparación entre dos tecnologías de SiGe, una de Freescale y otra de IHP con el fin de verificar hasta que punto los modelos de los componentes incluidos en ellas son o no fiables. Para ello se comparan los resultados obtenidos en las simulaciones y medidas de dos amplificadores de bajo ruido, cada uno diseñado en una tecnología distinta. Ambos amplificadores han sido diseñados para el estándar WLAN 802.11a, operando en una banda de frecuencias entre 5.15 y 5.875 GHz.

## II. TECNOLOGÍAS DE SiGe

Las dos tecnologías de SiGe que se han utilizado para el diseño de los dos LNAs son como hemos indicado en la introducción la CDR1 BiCMOS de 0.4  $\mu\text{m}$  de anchura de puerta de la foundry Freescale y la tecnología SGB25VD SiGe:C BiCMOS de IHP con una anchura de puerta de 0.2  $\mu\text{m}$ . En la siguiente tabla se resumen sus principales características.

	IHP	Freescale
Ancho de puerta ( $\mu\text{m}$ )	0.25	0.4
$f_t$ (GHz)	50	46
$f_{max}$ (GHz)	92	84
$\beta$	190	120
Condensadores	MIM	MIM
Resistencias	Poly-Si	Poly-Si
Bobinas	N/D	Cu

Tabla 1. Características de las tecnologías SiGe utilizadas.

Como se puede comprobar en la tabla 1, la tecnología de IHP es superior a la de Freescale ya que presenta un ancho de puerta del transistor más estrecho con lo que permite

conseguir frecuencias de operación más altas. Ambas ofrecen condensadores MIM y resistencias de Poly silicio. Las bobinas de Freescale permiten cambiar su valor modificando su geometría mientras que IHP ofrece varias bobinas de valores fijos con lo que restringe bastante la flexibilidad a la hora del diseño. Ninguna de las dos tecnologías ofrece un modelo para las líneas de transmisión.

El problema que aún presentan las tecnologías basadas en silicio es que aún no incluyen modelos muy fiables a frecuencias elevadas. Si bien es cierto que existen circuitos de SiGe que operan a frecuencias milimétricas, generalmente solo las propias foundries son capaces de diseñar este tipo de circuitos al disponer de toda la información posible del proceso utilizado. El límite para diseñadores externos que solo cuentan con los modelos proporcionados por la foundry es como máximo de unos 10 GHz.

Este problema es más acusado aún en algunos componentes como por ejemplo las bobinas, cuyos modelos no son fiables hasta muy alta frecuencia, y aún más en las líneas de transmisión de las cuales ni siquiera se incluye un modelo en la librería. Esto se debe a que hasta no hace mucho tiempo el SiGe se utilizaba para diseños a frecuencias bajas, donde el efecto de las líneas es despreciable. En cambio, para diseños a frecuencias por encima de los 2 GHz aproximadamente, el efecto de las líneas en el comportamiento del circuito comienza a ser importante ya que aparecen efectos parásitos y pérdidas que degradan las características del diseño. Es pues necesario realizar simulaciones electromagnéticas de las líneas de transmisión con el fin de poder incluir su efecto en las simulaciones del circuito.

### III. DISEÑO DEL LNA

Se han diseñado dos LNAs para trabajar a la frecuencia de 5.8 GHz en el Standard WLAN 802.11a. La configuración de los circuitos es bastante distinta a pesar de estar diseñados para la misma banda de frecuencias.

#### A. LNA en tecnología Freescale.

El amplificador de bajo ruido fabricado con la tecnología de Freescale fue diseñado para su funcionamiento en un receptor de conversión directa. Este tipo de receptores presenta grandes ventajas pero también una serie de inconvenientes como la aparición de un offset de DC y su gran sensibilidad a las no linealidades de segundo orden. Con el fin de minimizar estos efectos negativos se debe seguir un cuidadoso proceso de diseño.

El LNA consta de tres etapas diferenciales, que aunque incrementan en consumo, permiten mejorar el aislamiento y la distorsión de segundo orden, minimizando algunos de los inconvenientes citados anteriormente. En la primera se realiza la conversión de la señal "single" proveniente de la antena, a una señal diferencial. En esta etapa también se produce una pequeña amplificación de la señal aunque la principal preocupación en su diseño fue la de conseguir el mínimo ruido, ya que al tratarse de la etapa de entrada, será ésta la que determine el ruido del amplificador completo. Se ha conseguido asimismo una buena adaptación de entrada a

50 Ohmios para lo cual se utilizó una bobina antes del condensador de desacoplo.

La amplificación más importante de la señal se realiza en la segunda etapa, donde se emplea una topología diferencial en doble celda de Gilbert. Otro parámetro muy importante al que hay que prestar atención es el desfase existente entre las señales de salida del amplificador. El desfase debe ser lo más cercano posible a  $180^\circ$  para que la señal no se corrompa. Ésta es la razón por la cual se incluyó la tercera etapa en el diseño. Las señales a la salida de la segunda etapa no se encontraban desfasadas  $180^\circ$  con lo que fue necesario el diseño de un nuevo circuito que corrigiese la fase de estas señales. El circuito utilizado es un simple par diferencial que incluye dos condensadores cruzados desde los colectores de los transistores a la alimentación, siendo éstos los encargados de corregir la fase de salida.

En la Fig.2 se muestra el esquemático de la tercera etapa del LNA. Las otras dos etapas no se incluyen ya que se trata de configuraciones diferenciales clásicas.

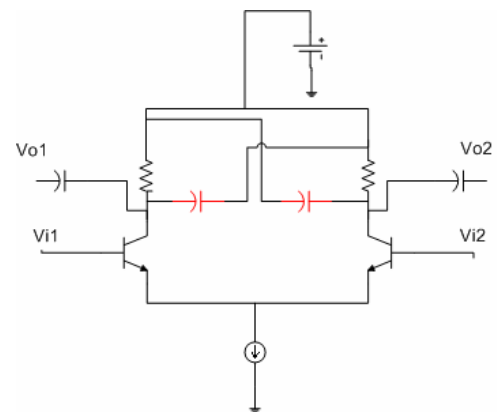


Fig. 2. Topología de la última etapa del LNA en tecnología Freescale.

#### B. LNA en tecnología IHP.

El LNA diseñado con la tecnología IHP se pensó para un propósito más general que el de Freescale, es decir, que pudiese funcionar en un sistema de conversión directa, pero que su diseño no se restringiese a los requerimientos de este tipo de conversión, como es por ejemplo la utilización de las topologías diferenciales que aumentan el consumo, el ruido y el tamaño del chip.

Se ha elegido una topología en cascada para este LNA. Tanto la entrada como la salida se encuentran adaptadas a 50  $\Omega$  con el fin de minimizar la desadaptación y la reflexión con la antena u otros componentes del receptor. La adaptación de entrada se obtiene a través de una inductancia paralelo en la entrada del circuito y usando también el condensador de desacoplo como elemento de la red de adaptación. La salida se ha adaptado usando un circuito en pi de componentes pasivos.

Los transistores Q1 y Q2 realizan la amplificación de la señal. El transistor Q2 posee una resistencia de realimentación paralela que además de polarizar al transistor permite conseguir una respuesta de ganancia plana. Esto representa una gran ventaja ya que al no estar la ganancia muy sintonizada, las variaciones en las tolerancias o en los modelos de los componentes no van a afectar mucho al valor

de ganancia. El esquemático del circuito se presenta en la Fig.3.

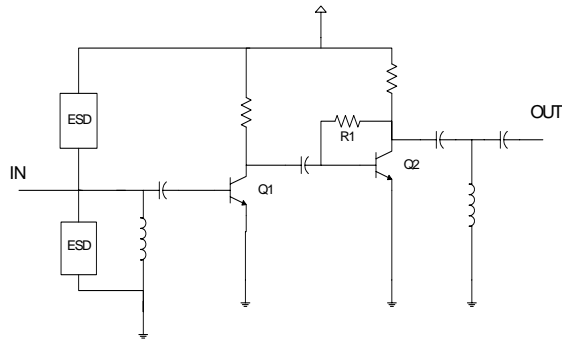
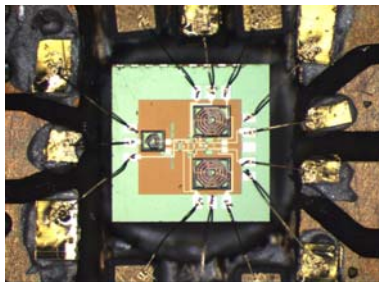


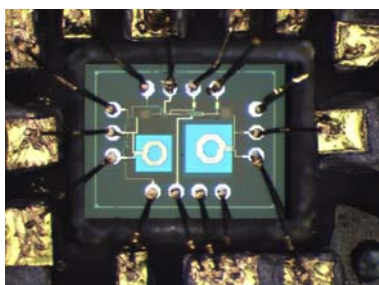
Fig. 3. Esquemático del LNA en tecnología IHP.

#### IV. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Ambos circuitos fueron montados en una caja sobre un sustrato de CuClad ( $\epsilon = 2.17$ ,  $H = 0.254$  mm). Las líneas de conexión de CuClad también fueron simuladas en Momentum e introducidas en la simulación final para tener en cuenta su efecto en el comportamiento del circuito. También se incluyeron los bondings con sus longitudes reales, medidas después del montaje. Las microfotografías de los dos circuitos se muestran en las siguientes figuras.



(a)



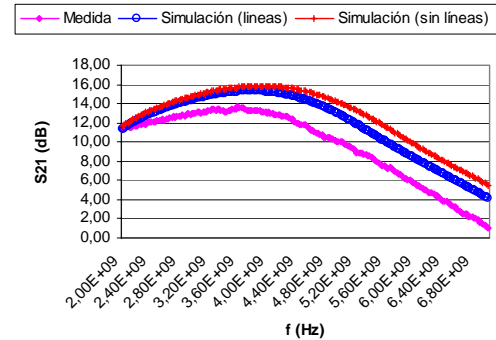
(b)

Fig. 4. Microfotografía del LNA de Freescale (a) y de IHP (b).

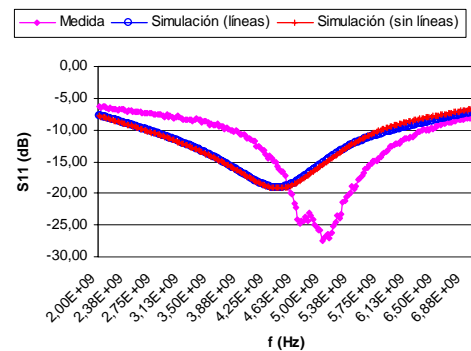
A continuación se van a representar los resultados obtenidos en las simulaciones y en las medidas de cada uno de los LNAs con el fin de poder establecer una comparación en cuanto a la bondad de los modelos en cada una de las tecnologías. También se incluyen los resultados de las simulaciones sin incluir el efecto de las líneas de transmisión para remarcar su influencia a estas frecuencias de diseño.

#### A. LNA en tecnología Freescale.

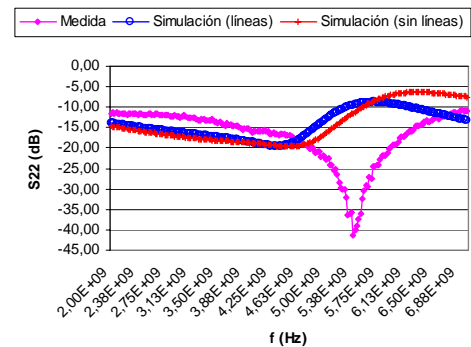
La comparación de las simulaciones y medidas para el LNA en tecnología Freescale se representan en la Fig.5.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Comparación de simulación y medida para el LNA de Freescale.

Podemos comprobar en las gráficas anteriores que si bien la ganancia que se ha medido posee un valor y una forma bastante similar a la de simulación, no ocurre lo mismo en el caso de las adaptaciones presentándose en este caso las zonas de máxima adaptación (en torno a la frecuencia de 5.2 GHz) desplazadas con respecto a los valores de medida. Este problema puede ser debido a un modelo de bobina poco exacto, que no tenga en cuenta por ejemplo efecto de capacidades y bobinas parásitas intrínsecas a frecuencias elevadas. Esto puede dar lugar a que si bien el diseño se realiza para que se produzca una resonancia a determinada frecuencia para maximizar la adaptación, en la realidad la bobina resuena a una frecuencia distinta lo que causa ese desplazamiento en la campana.

## B. LNA en tecnología IHP.

En la Fig.5 se representa la comparación de las simulaciones y las medidas hechas al LNA en tecnología IHP.

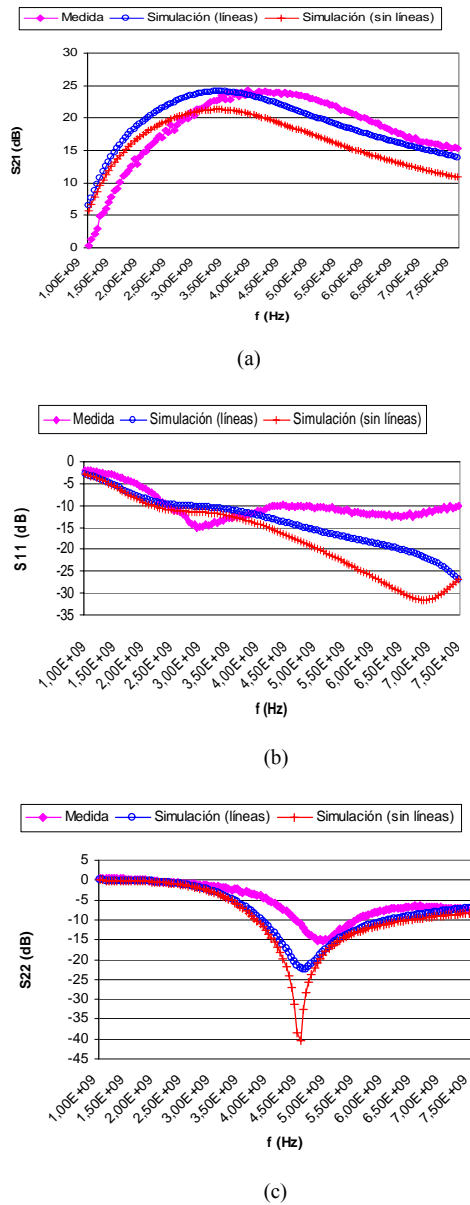


Fig. 6. Comparación de la simulación y la medida en el LNA de IHP.

Como se puede ver en las gráficas anteriores las simulaciones y las medidas guardan una gran similitud. En este caso las adaptaciones máximas se encuentran realmente en los puntos para las cuales lo habíamos diseñado, coincidiendo con la frecuencia de operación. A rasgos generales, podemos decir que los modelos que incluye la librería de IHP son más exactos y se ajustan más al comportamiento real de los componentes que los de Freescale. Esto también se verifica si comparamos las figuras de ruido de los dos amplificadores.

Como se puede ver en la Fig.7 (a), la medida posee un valor mayor que el de simulación pero sin seguir una tendencia constante con la frecuencia. Esto indica que el modelo de ruido empieza a fallar a medida que la frecuencia va aumentando ya que como se ve en la gráfica los valores de medida y simulación están cada vez más alejados. En cambio

si nos fijamos en la Fig.7 (b) donde se representa la figura de ruido del LNA de IHP, el incremento de ruido entre medida y simulación permanece constante en todo el rango de frecuencias, ya que es únicamente debido al efecto de los cables y conectores usados en la medida.

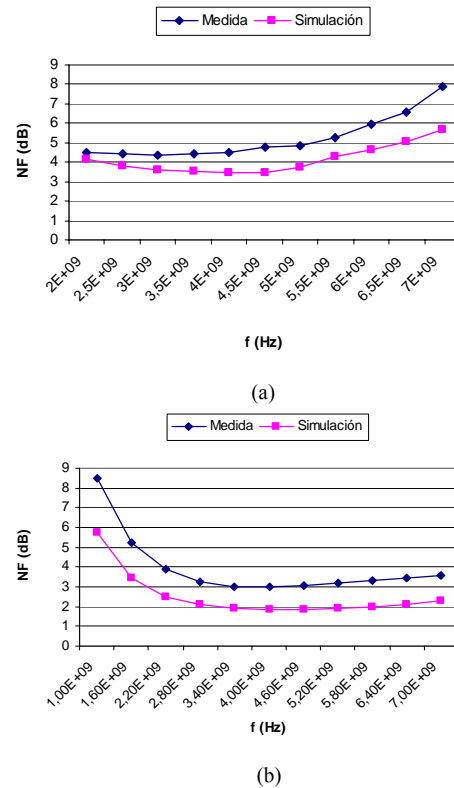


Fig. 7. Figura de ruido del LNA de Freescale (a) y de IHP (b).

## V. CONCLUSIONES

Se han diseñado dos amplificadores de bajo ruido para el Standard WLAN 802.11a en dos tecnologías distintas con el fin de comparar la exactitud de sus modelos. Hemos comprobado que los modelos de la tecnología IHP son más fiables ya que permanecen válidos hasta frecuencias más elevadas que en la tecnología Freescale.

De todas formas, el comportamiento de ambos circuitos en medida es bastante similar al de simulación, siempre y cuando se tengan en cuenta las simulaciones electromagnéticas de las líneas que unen los componentes y de las cuales no existe modelo en ninguna de las dos librerías.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto “Transceptores integrados multielemento y monocircuito para radiocomunicación digital de banda ancha”, TEC-2006-13067-C03-02.

## REFERENCIAS

- [1] H. Bennett, R. Brederlow et al, “Device technology evolution for Si-based RF integrated circuits,” *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol.52, No.7, July 2005.
- [2] J. Browne, “SiGe technology makes practical advances,” *Microwaves & RF*, October 1999.
- [3] B. Dehlink, H. Wohlmuth et al, “A low-noise amplifier at 77 GHz in SiGe:C bipolar technology,” *Semiconductor Integrated Circuit Symposium 2005*.